

Production de blé dur innovant et gestion des risques : modélisation des choix de production et de commercialisation

Auteurs :

Karim CHAIB (EI PURPAN, INRA, UMR AGIR)

Aude RIDIER (Agrocampus Ouest, INRA, UMR SMART LERECO)

Soukaina HITANE (Agrocampus Ouest, INRA, UMR SMART LERECO)

Résumé

Les nouveaux enjeux de la filière blé dur française nécessitent de repenser les systèmes de production vers des itinéraires techniques innovants à bas intrants. Les pratiques visant la réduction de l'utilisation des intrants de synthèse contribuent au respect de la réglementation environnementale mais peuvent aussi modifier le niveau de productivité des cultures et augmenter sa variabilité. Le risque sur le rendement s'ajoute au risque de fluctuation des prix de marché. La souscription de contrats entre agriculteur et collecteur peut permettre de gérer ces risques, une des fonctions du contrat étant de partager les risques entre les parties. Dans cet article, nous interrogeons l'effet d'une offre de contrats diversifiée sur l'adoption par les agriculteurs d'itinéraires techniques innovants à bas intrants. Nous construisons un modèle dynamique en programmation stochastique discrète proposant une articulation originale entre l'adoption d'un changement de pratique et l'adoption séquentielle de contrats de commercialisation. Nous intégrons les choix de production et les choix de commercialisation séquentiels d'un producteur spécialisé en blé dur. Nous montrons que bien que moins rentables en moyenne, les itinéraires techniques à bas intrants peuvent atteindre des prix d'intérêts plus élevés si le choix de production est accompagné de certains types de contrats qui diminuent le risque de marché.

Mots-clés : blé dur, modèle dynamique, itinéraires à bas intrants, contrats

Production de blé dur innovant et gestion des risques : modélisation des choix de production et de commercialisation

1 Introduction

La France est l'un des principaux acteurs du marché du blé dur à l'échelle internationale. La filière française du blé dur s'est dotée récemment d'un nouveau schéma d'organisation afin d'atteindre des objectifs de production à la fois quantitatifs et qualitatifs. L'enjeu est de stabiliser l'approvisionnement des industries de transformation et de maintenir un niveau de compétitivité suffisant face à la concurrence internationale (Fares et al., 2012). Ces objectifs se trouvent confrontés à d'autres enjeux d'ordre plus agronomique, liés à l'évolution de la réglementation environnementale ; incitations à la baisse des intrants de synthèse, notamment des fertilisants d'origine minérale azotée et de produits phytosanitaires, tout en maintenant un niveau de productivité satisfaisant. Ces nouveaux enjeux nécessitent de repenser des systèmes de production vers des alternatives innovantes. Les pratiques de réduction de l'utilisation des intrants de synthèse contribuent au respect de la réglementation environnementale mais peuvent modifier le niveau de productivité des cultures et augmenter sa variabilité (Abécassis et al., 2013; Daydé et al., 2014 ; Boyet et al., 2015). Le risque est présent sous différentes formes : le risque de fluctuation du rendement, le risque de non-conformité (lié au risque de non atteinte de la qualité) et le risque de marché. Divers outils de gestion de risque existent et sont mobilisés soit au niveau de l'exploitation, notamment via la diversification de productions agricoles, soit en partageant le risque à l'extérieur de l'exploitation comme par la souscription de contrats d'assurance ou de commercialisation avec les organismes de collecte. La souscription de contrats entre agriculteur et collecteur (coopérative dans notre cas) peut permettre de gérer ces risques, une des fonctions du contrat étant de partager les risques entre les parties (Roussy et al., 2018).

Dans cette communication, nous nous interrogeons sur l'effet de divers contrats de commercialisation sur l'adoption par les agriculteurs d'itinéraires techniques à bas intrants dits innovants. Si l'analyse empirique de l'effet des contrats de commercialisation sur l'adoption de pratiques plus respectueuses de l'environnement a été peu étudiée dans la littérature (Ricome et al., 2016), la littérature théorique sur la séparabilité des choix de production et de commercialisation en présence de risque de marché n'est pas récente (voir par exemple Holthausen, 1979). Danthine (1983), Grant (1985) ainsi que Lapan et Moschini (1994) ont montré, en agriculture, qu'en présence de risques à la fois sur la production et sur les prix, les stratégies financières de protection contre le risque de marché sont imparfaites du fait du caractère non séparable des choix de production et de commercialisation. Par ailleurs, l'effet des politiques d'assurance au revenu sur les choix de production et l'utilisation d'intrants fait l'objet d'une littérature plus abondante et essentiellement empirique, depuis les années 80. Dans un article de 2005, Mishra et al ont mené une analyse empirique de l'impact de différents programmes de soutien aux

assurances-revenu sur l'utilisation d'intrants (utilisation désagrégée de fertilisants et de produits phytosanitaires) sur 865 producteurs de blé d'hiver aux Etats Unis ayant contracté ou non une assurance (Mishra et al., 2005). Ils montrent que les agriculteurs déjà engagés dans des contrats de commercialisation ont une probabilité plus élevée de contracter une assurance-revenu. Par ailleurs, ils montrent que l'utilisation de fertilisants et de pesticides est réduite de 21 dollars par hectare en moyenne pour les agriculteurs ayant contracté une assurance – revenu, et que cette baisse est principalement due à la diminution de consommation de fertilisants. L'effet de l'assurance-revenu sur la consommation de pesticides semble négligeable, ce qui est cohérent avec d'autres travaux (Smith and Goodwin, 1996). Ainsi, du fait de l'aléa moral, sous la protection de l'assurance, les agriculteurs changeraient leur consommation d'intrants, plus particulièrement les fertilisants, l'effet sur les pesticides étant ambigu dans la littérature (Quiggin, 1992) ainsi que leurs pratiques de production en opérant des choix de pratiques et de production plus risqués.

Dans ce travail, nous proposons d'analyser l'effet d'assurance de contrats de commercialisation en blé sur l'adoption de pratiques à bas niveau d'intrant. Comme certains contrats sont conclus avant la récolte, l'agriculteur doit faire un premier choix à partir des anticipations de ses performances. Une partie de ces incertitudes seront levées après la récolte et il pourra ainsi ajuster ses décisions. Cet aspect séquentiel dans le processus de décision a été abordé dans la littérature dans le cas des productions bovines (Lien and Hardaker, 2001 ; Mosnier, 2015). Nous construisons pour cela un modèle dynamique de choix de production en programmation mathématique, que nous alimentons avec des données sur, d'une part, les performances de différents itinéraires techniques en blé dur obtenus au cours d'une expérimentation agronomique et d'autre part les données concernant différents contrats de commercialisation du blé dur. La démarche proposée passe par l'élaboration d'un modèle en programmation stochastique discrète tenant compte à la fois du risque de marché et du risque de production (Rae, 1971 ; Trebeck and Hardaker, 1972 ; Apland and Hauer, 1993 ; Ridier et al., 2015). Dans ce modèle, nous intégrons les choix de production et les choix de commercialisation séquentiels d'un producteur spécialisé en blé dur. Le modèle propose une articulation originale entre l'adoption d'un changement de pratiques et l'adoption séquentielle de contrats de commercialisation (Ricome et al., 2016) afin d'évaluer, au niveau de l'exploitation, l'intérêt agronomique et économique de l'application de pratiques culturales innovantes de blé dur, basées sur une réduction voire une absence d'intrants de synthèse. Dans une première partie (section 2.1) nous présentons le modèle dynamique de choix de production et de contrat de commercialisation. Dans une deuxième partie (section 2.2) nous exposons les données utilisées qui concernent des systèmes de production innovants expérimentés et proposés aux agriculteurs de la zone d'étude (zone Sud Est de la France). Dans la troisième partie (section 3), nous exposons les résultats de nos simulations et leur discussion.

2 Matériel et méthode

2.1 Le modèle

Vue générale

Nous construisons un modèle bioéconomique simulant les choix de production et de commercialisation d'une exploitation agricole sur la sole exclusivement réservée au blé dur, en prenant en compte les différents risques auxquels la production est exposée : risque de fluctuation des prix, risque de production lié à l'aléa climatique et pouvant faire varier le rendement, risque de fluctuation de la qualité du grain liée aussi à l'aléa climatique. Le risque de production est susceptible d'engendrer un risque supplémentaire, le risque de contrepartie lié au fait que l'agriculteur pourrait ne pas honorer son contrat avec l'organisme stockeur, en termes de volumes engagés. Dans le modèle, les choix de production et de commercialisation sont couplés et simultanés, ils portent sur l'itinéraire technique et le type de contrat. L'agriculteur est considéré comme un agent rationnel maximisant une fonction d'utilité du type Espérance/Ecart-type sous des contraintes de ressources disponibles. Le processus de décision est supposé dynamique, sur deux périodes (1, 2), avant récolte (période 1) et après récolte (période 2). Parmi les itinéraires techniques possibles figurent des itinéraires conventionnels et d'autres qui utilisent une combinaison de leviers agronomiques permettant de diminuer la quantité d'intrants (date de semis, variété, opérations culturales, etc.). De ces nouveaux itinéraires techniques résultent des performances agronomiques et économiques différentes.

Variables de décision

En période 1, avant récolte, les décisions de l'agriculteur consistent à prévoir la répartition des surfaces selon les différents modes de production et de commercialisation. Pour chaque unité de surface, un itinéraire technique est choisi (ITK). Par ailleurs, une proportion des surfaces (c) peut être engagée sous un contrat de production portant sur la qualité (contrat noté CQ), tandis que l'autre partie des surfaces ne l'est pas ($1-c$). Même si les contrats-qualité sont rémunérés au prix moyen de campagne, ils valorisent la qualité de la récolte à travers une prime à la tonne. Nous considérons dans le modèle que ces contrats ne peuvent être souscrits qu'avant la récolte et que la qualité n'est pas valorisée par une prime dans les autres contrats.

Au moment de la récolte, l'agriculteur acquiert de nouvelles informations qualitatives et quantitatives sur l'ensemble de sa récolte (prix, volume, qualité) et prend des décisions, en période 2, sur les surfaces non engagées en première période. Il peut ainsi choisir, sur cette production non engagée, soit de stocker une proportion (s) du volume produit pour le vendre au cours de la campagne au prix du jour sur le marché *spot* (contrat ou modalité de commercialisation notée CStock), soit de livrer immédiatement la proportion non stockée ($1-s$) à la coopérative sous un contrat rémunéré au prix moyen de campagne (contrat noté CPMC).

On fait l'hypothèse que l'agriculteur possède toutes les informations nécessaires sur les contrats proposés par l'organisme de collecte et sur les performances des itinéraires techniques considérés et que les informations sur les prix et la qualité sont mises à jour entre la période 1 et la période 2 (fig. 1).

Au final, les variables de décision du modèle portent sur les surfaces en blé dur notées x_{ij} conduites selon l'itinéraire technique i et engagées dans le contrat j .

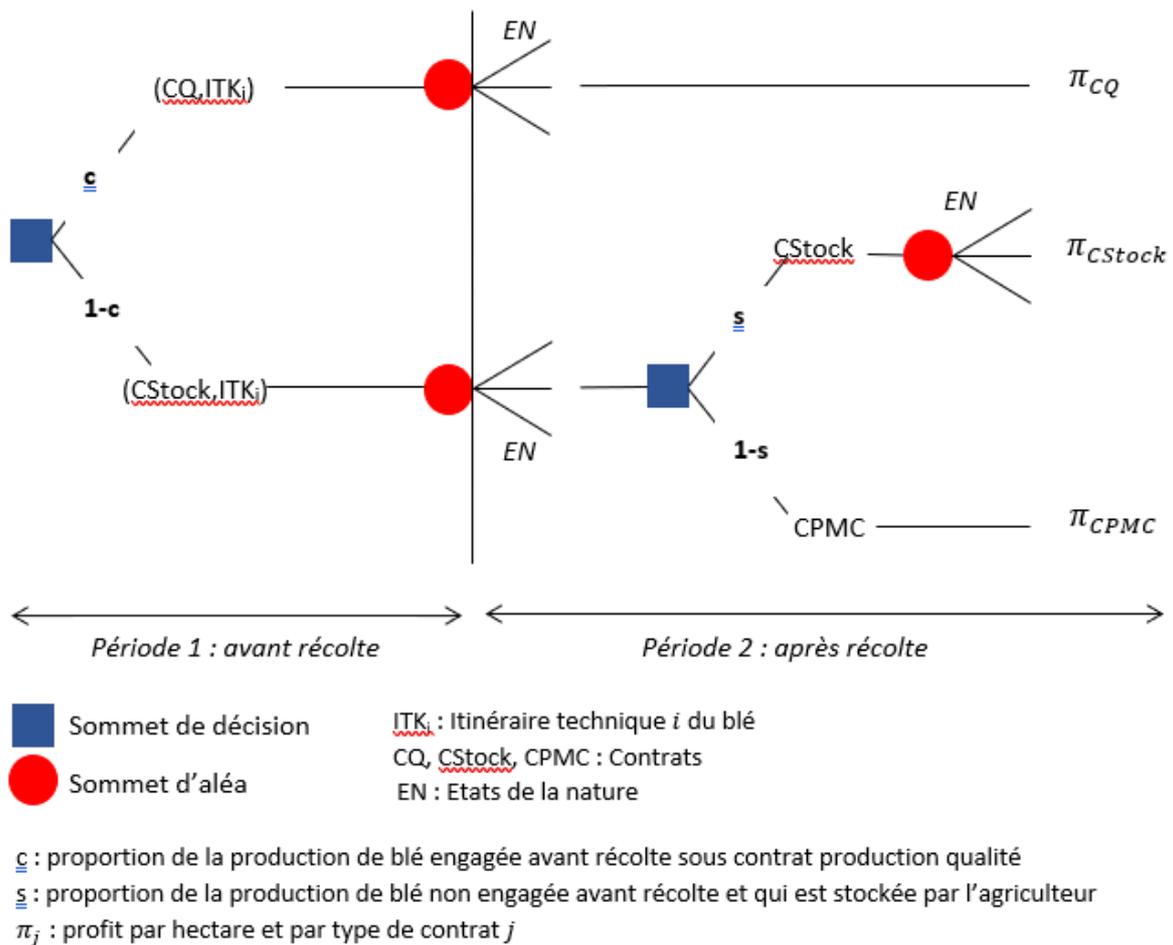


Figure 1 : Présentation des décisions séquentielles sur modèle de Programmation Stochastique Discrète

Fonction objectif

Le profit π de l'exploitation agricole réalisé sur la sole en blé dur est calculé en ajoutant les marges des surfaces x_{ij} implantées dans les différents itinéraires techniques et dans les différents contrats. Le rendement par itinéraire technique i , noté \tilde{y}_i , est soumis à un aléa lié aux facteurs

biotiques et abiotiques. Le prix du blé \widetilde{P}_j auquel est vendue la récolte de l'année est soumis à un risque de fluctuation qui dépend de la période de souscription du contrat de commercialisation. Une autre composante du chiffre d'affaires de l'exploitation agricole est la prime \widetilde{Pr}_{ij} de qualité, octroyée à la tonne de blé dur, qui dépend du contrat j et du niveau de qualité atteint par l'itinéraire technique i . Enfin, les coûts de production par hectare de blé c_i dépendent de l'itinéraire technique i et sont supposés certains (Equation 1).

$$\pi = \sum_{i,j} x_{ij} [\widetilde{y}_i (\widetilde{P}_i + \widetilde{Pr}_{ij}) - c_i]$$

(Equation 1)

Le profit π possède une dimension stochastique et afin d'introduire l'aversion pour le risque de l'agriculteur, nous avons choisi d'évaluer l'espérance d'utilité du profit grâce à une fonction d'utilité de type Von Neumann et Morgenstern en approximant la fonction d'utilité à partir de la formule d'Arrow Pratt, avec $E(\pi)$ l'espérance de profit, $V(\pi)$ la variance du profit et φ le coefficient d'aversion absolue au risque de l'agriculteur (équation 2)

$$U(\pi) = E(\pi) - \frac{1}{2} \varphi V(\pi) .$$

(Equation 2)

Contraintes

Dans le modèle, nous prenons en compte d'une part des contraintes statiques liées à la disponibilité des ressources et d'autre part des contraintes dynamiques liées à l'engagement en surface ou en volume sur des contrats de qualité.

Les contraintes de disponibilité des ressources sont liées à la disponibilité en surface agricole totale pour la production de blé dur sur l'exploitation, notée $SABD$, x_{ij} est la surface en blé dans l'itinéraire technique i et engagée dans le contrat j (équation 3).

$$\sum_{i,j} x_{ij} < SABD$$

(Equation 3)

Les deux premières contraintes dynamiques du modèle concernent la continuité des itinéraires techniques entre la période 1 et la période 2 et le respect de l'engagement contractuel.

Notons x_{ij}^1 et x_{ij}^2 les surfaces de blé dur selon l'itinéraire technique i et le contrat j à la période, respectivement, 1 et 2. Les itinéraires techniques choisis en période 1 sont menés jusqu'à la récolte soit la période 2 (équation 4).

$$\sum_j x_{ij}^1 = \sum_j x_{ij}^2$$

(Equation 4)

Si l'engagement sur les contrats de qualité ($j=CQ$) se fait en surface, alors, quel que soit l'itinéraire technique, la somme des surfaces sous contrat qualité en période 1, notées x_{iCQ}^1 est égale à la somme des surfaces en contrat qualité en période 2, notées x_{iCQ}^2 (équation 5).

$$\sum_i x_{iCQ}^1 = \sum_i x_{iCQ}^2$$

(Equation 5)

Si l'engagement sur les contrats de qualité se fait en volume, on fait alors l'hypothèse que la décision de volume engagé de l'agriculteur se base sur une anticipation de rendement correspondant à l'état de la nature le plus défavorable pour l'itinéraire i , noté, y_{iMIN} et que le volume engagé pour l'itinéraire technique i en période 1 est donc $x_{i1}^1 y_{iMIN}$. La contrainte de continuité de l'itinéraire technique entre les deux périodes est la même que dans le cas précédent. Du fait de cette contrainte, les surfaces réellement engagées en période 2 dans le contrat de qualité x_{i1}^2 dépendent du rendement moyen effectif à la récolte noté \hat{y}_i (équation 6).

$$\sum_i x_{i1}^1 y_{iMIN} = \sum_i x_{i1}^2 \hat{y}_i$$

(Equation 6)

La dernière contrainte dynamique porte sur la mise à jour des distributions de prix en période 2 dans le cas où l'agriculteur choisit un contrat de commercialisation à prix moyen, c'est-à-dire le cas où $j = CPMC$ ou $j = CQ$. Dans le cas de ces deux types de contrats à prix moyen, l'acheteur du grain verse à la récolte un acompte K , par conséquent, après récolte, en période 2, la distribution de prix du blé est modifiée ; elle devient tronquée à gauche c'est-à-dire que la probabilité pour que le prix à la période 2 soit égale à K est égale à la probabilité cumulée pour que les prix à la période 1 soient inférieurs à K (équations 7 et 8)

Pour tout $k \geq K$,

$$Prob(\tilde{p}_i^2 = k) = Prob(\tilde{p}_i^1 = k) \quad \text{et} \quad Prob(\tilde{p}_i^2 = K) = Prob(\tilde{p}_i^1 \leq K)$$

(Equations 7 et 8)

Finalement, la résolution du programme du producteur consiste à déterminer, à chaque période (1 et 2), les surfaces en blé dur choisies dans les itinéraires techniques disponibles et associées à un des contrats proposés par la coopérative, maximisant la fonction d'utilité et ceci en respectant l'ensemble des contraintes statiques et dynamiques. Ce sont donc les surfaces choisies à la période 2 qui renvoient les surfaces associées et les contrats choisis au final.

2.2. Les données

Pour l'exercice de simulation, les distributions des termes stochastiques ont été introduites de façon discrète, à travers des états de nature. Pour les rendements, on a considéré trois états de nature (faible, moyen et élevé). Pour la prime de qualité, on a considéré quatre états de nature correspondant aux quatre niveaux de prime proposés par la coopérative¹. Pour les prix du blé dur, les états de nature ont été introduits en prenant pour référence les prix moyens mensuels de l'INSEE, calculés sur la campagne de commercialisation, entre 2015 et 2017. Les probabilités associées aux états de nature des prix ont été choisies de telles sortes que l'espérance et la variance de prix soient identiques à celles observées sur les données INSEE 2015-2017. Les probabilités associées aux états de nature de rendement et de qualité ont été choisies de telle sorte que l'espérance et la variance de rendement et de qualité soient les mêmes que celles évaluées durant les essais sur les itinéraires techniques innovants². Comme cela a été observé lors des expérimentations faites par les agronomes dans le projet DUR

1 0 €, 10 €, 20 € et 30 €

2 Projet DUR DUR, Innovations agronomiques, techniques et organisationnelles au service de la DURabilité de la filière blé DUR, Systèmes Alimentaires Durables (ALID), Edition 2013, <http://www.agence-nationale-recherche.fr/?Projet=ANR-13-ALID-0002>

DUR, la mise en œuvre d'itinéraires techniques à bas niveau d'intrants de synthèse (fertilisants et pesticides) expose l'agriculteur à un risque de production portant sur la qualité et le volume produits plus élevé qu'avec des conduites plus intensives en intrants de synthèse.

Zone d'étude

Parmi les principales zones françaises productrices, le Sud-Est (région Provence Alpes Côte d'Azur) fait l'objet du présent travail. Dans le Sud-Est, la superficie du blé dur est de 41 304 ha, ce qui fait d'elle la céréale la plus cultivée dans la région. Le blé dur y est confronté à plusieurs problèmes d'ordre agronomique, économique et environnemental. En se spécialisant sur des monocultures, les exploitations rencontrent des impasses agronomiques. La monoculture de blé permet certes une simplification des interventions culturales, mais le sol reste dépourvu de couvert végétal durant une longue période d'inter-cultures, ce qui favorise la lixiviation de l'azote. Ajouté à cela, des résistances des pathogènes aux produits phytosanitaires se développent et la sur-utilisation des fertilisants et des produits phytosanitaires affectent également la fertilité des sols. Du point de vue économique, le découplage des aides du premier pilier de la PAC, excepté la prime spécifique de qualité dans les régions de culture traditionnelle qui est d'environ 53 €/ha en 2014, a rendu la culture du blé dur moins profitable en comparaison avec d'autres cultures. La vigne, la lavande et les fruits sont devenues des cultures à haute valeur ajoutée en compétition directe avec le blé dur pour lequel la surface dédiée est réduite (Chambre d'Agriculture PACA, 2016). Par ailleurs, dans le zone Sud-Est, on distingue, selon les caractéristiques pédologiques, une sous-zone à haut potentiel (notée HP) et une sous-zone à faible potentiel agronomique (notée FP). L'exploitation moyenne de la zone à haut potentiel (HP) dispose d'une sole de 31 ha de blé et l'exploitation moyenne de la zone à faible potentiel (FP) d'une surface de 20 ha de blé. Dans la zone à haut potentiel, la production de blé dur est la production principale et dans la zone à faible potentiel, les cultures à haute valeur ajoutée (maraîchage, arboriculture, viticulture) la concurrencent.

Itinéraires techniques

Différents essais d'itinéraires techniques innovants ont été conduits dans la zone d'étude. La conception de nouveaux itinéraires techniques répond à l'objectif d'assurer une production de blé dur conforme à la réglementation environnementale prévue dans le cadre du plan ECOPHYTO 2018, à savoir la réduction de 50% des pesticides et 25% des engrais azotés de synthèse. Face à cette réduction, la récolte doit aussi permettre d'approvisionner en quantité et en qualité les industriels pour une valorisation du blé dur en produits finis (pâtes, couscous). Des itinéraires techniques innovants de blé dur ont été co-conçus dans le cadre d'ateliers mobilisant un ensemble d'acteurs de la recherche

scientifique et des filières, afin de mobiliser les diverses compétences des organismes participants. Les essais expérimentaux ont été menés deux années de suite en 2014 et en 2015 (annexes A1 et A2).

Les itinéraires techniques innovants sont mis en concurrence avec des itinéraires techniques « de référence » qui ont été identifiés sur la base de moyennes régionales (source : Arvalis Institut du Végétal). La comparaison entre les itinéraires techniques de référence et les itinéraires techniques innovants conçus porte sur l'ensemble des pratiques culturales réalisées, du semis à la récolte. Deux potentiels de production du blé dur sont présents en fonction des conditions pédologiques : un sol à haut potentiel (HP) et un sol à faible potentiel (FP) de production. Parmi tous les itinéraires techniques innovants mis à l'essai dans le projet, nous en avons sélectionné certains, en concertation avec les agronomes, sur la base de leurs performances économique, agronomique et de leur valeur technologique (tableau 1).

Tableau 1. Caractéristiques des itinéraires techniques innovants

Zones d'étude	Itinéraire technique	Caractéristiques	
Sud-Est (Aix en Provence)	Haut potentiel	Référence Haut Potentiel « HP-ref »	Pratiques culturales régionales spécifiques au type de sol à haut potentiel, sécurisées par irrigation et traitements chimiques selon les conditions pédoclimatiques. Blé : culture principale
		Optimisé en sec « Opti-S »	Réduction de l'utilisation des pesticides et emploi du désherbage mécanique
		Econome en eau « EcEau »	Mélange du blé avec la gesce au semis. Destruction de la gesce par le gel constituant le mulch qui conserve l'humidité du sol
	Faible potentiel	Référence Faible Potentiel « FP-ref »	Pratiques culturales de la région spécifiques au type des sols à faible potentiel, sécurisées par emploi du désherbage chimique. Blé : culture subsidiaire
		Stabilité de la qualité « StabKt »	Semis d'une variété connue pour ses caractéristiques technologiques. Réduction de l'utilisation des pesticides. Emploi de désherbage mécanique
		Agriculture biologique « AB »	Absence d'utilisation d'intrants de synthèse. Utilisation de plantes de service : mélange avec la gesce qui devrait être détruite par le gel et la féverole binée au printemps.

Source : Justes, Hily, Projet ANR DUR DUR, communication personnelle, 2017

Performance économique et agronomique des itinéraires techniques

Pour la zone du Sud-Est à Haut Potentiel, le rendement le plus élevé est celui des itinéraires techniques notés HP-ref suivi de Opti-S (fig. 2). Mais l'itinéraire technique innovant Opti-S présente un niveau de coût de production plus faible ainsi qu'une distribution de rendement moins dispersée que HP-ref. Le troisième itinéraire technique noté EcEau est pénalisé par des coûts de production (qui intègrent les

charges opérationnelles plus une partie des charges de mécanisation) relativement élevés et un rendement moyen plus faible que HP-ref mais, encore une fois, moins variable (fig. 2).

Dans la zone Sud-Est à faible potentiel, les niveaux de rendement moyens des itinéraires techniques innovants sont très faibles par rapport à l'itinéraire technique de référence noté FP-ref. Par contre, les coûts de production sont plus faibles. L'itinéraire StabKt a, quant à lui, des coûts de production encore plus faibles que l'itinéraire AB car les interventions culturales sont plus nombreuses en agriculture biologique et impliquent des coûts mécanisation plus importants (fig. 2).

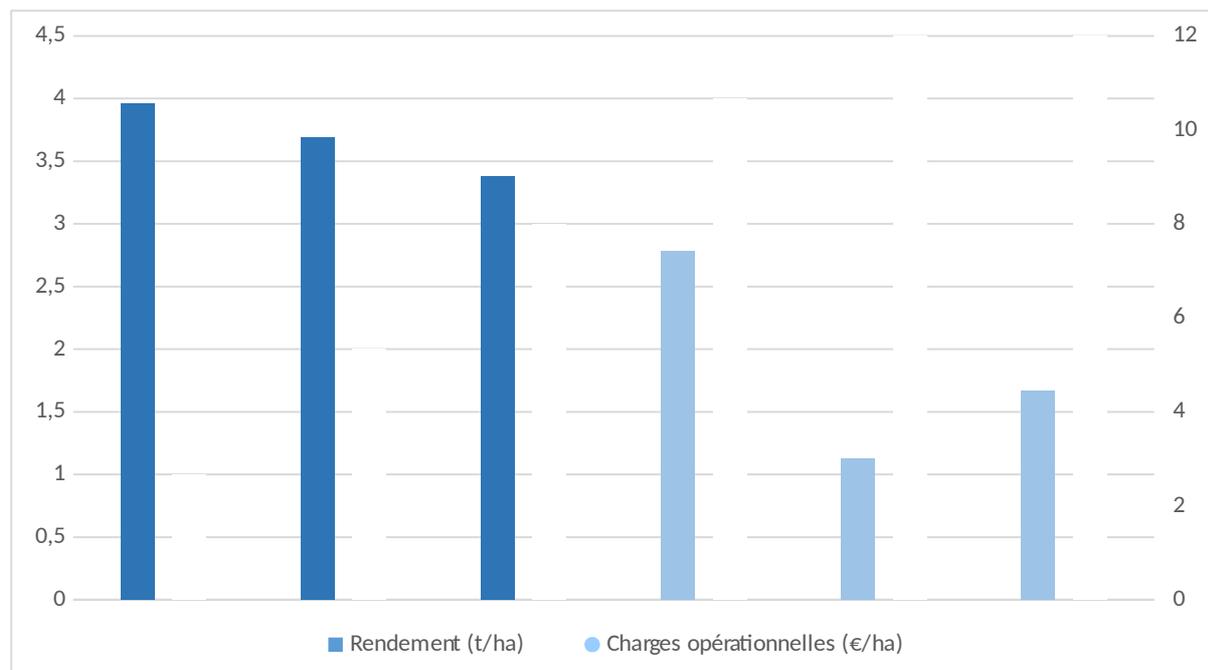


Figure 2. Moyennes et écart types des rendements observés sur les deux années et sur différentes parcelles d'essai et charges opérationnelles des itinéraires techniques innovants (Source : Justes, Hily, Restitution des résultats des expérimentations de l'ANR DURDUR, 2017)

Parmi les critères de qualité des itinéraires techniques innovants exigés dans les contrats (seuils de mitadins, de moucheture, d'impureté et de protéines), seul le taux de protéines influe sur le niveau de prime de qualité accordée. Dans le Sud-Est, le taux de protéines moyen enregistré est d'environ 13% en 2016. Ce taux est retenu comme seuil de comparaison des itinéraires techniques innovants. Dans la catégorie à haut potentiel, les taux de protéines moyens de tous les itinéraires techniques innovants sont plus élevés que la moyenne régionale, ce qui montre que les nouvelles pratiques à bas niveau d'intrants permettent une valorisation technologique de la récolte. Cependant, le risque de non atteinte du seuil de 13% est présent sur les itinéraires techniques innovants, si on tient compte de l'écart-type mesuré sur les essais. Ainsi, seul le taux de protéines de l'itinéraire technique de référence atteint régulièrement le niveau exigé par les industriels ce qui rend cet itinéraire moins risqué d'un point de vue de la qualité (fig. 3).

Contrairement aux itinéraires techniques innovants de la zone à haut potentiel, ceux de la zone à faible potentiel ont des taux de protéines inférieurs en moyenne au taux moyen régional. Seul le taux de protéines de l'itinéraire de référence, FP-ref, atteint ce niveau moyen. Par conséquent, le contrat-qualité avant récolte (CQ) ne valoriserait, en moyenne que très rarement les itinéraires autres que l'itinéraire de référence dans la zone à Faible Potentiel (fig.3).

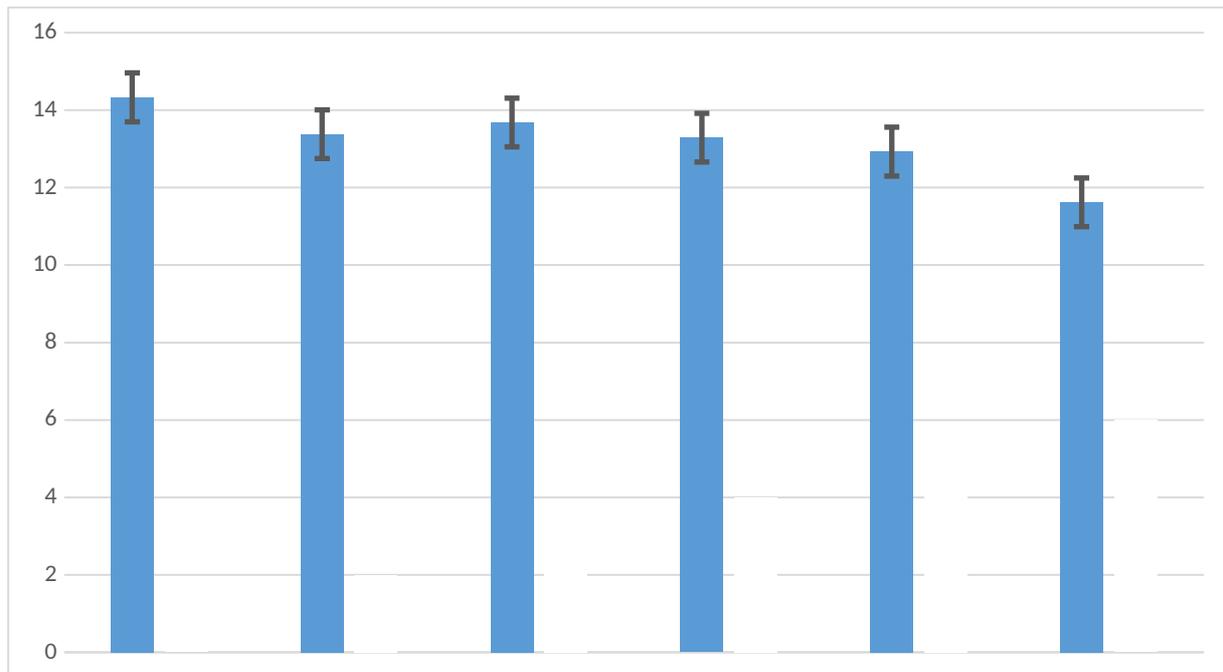


Figure 3. Taux de protéines (en %) des itinéraires techniques innovants (Source : Justes, Hily, , Restitution des résultats des expérimentations de l'ANR DURDUR, 2017)

Les arrangements contractuels

Trois modes de commercialisation sont considérés au sein du modèle, pour lesquels les niveaux et les types de risques qui entourent la transaction sont différents. Le contrat de production ou contrat-qualité, noté *CQ*, propose un engagement, avant récolte, soit en volumes soit en surfaces. La rémunération est basée sur le prix moyen de campagne, ce qui expose l'agriculteur à un risque de prix réduit. En effet, le producteur reçoit un acompte *K* à la récolte puis des compléments de prix établis par la coopérative en fonction des ventes annuelles. Le contrat de commercialisation à prix moyen de campagne *CPMC* ne nécessite pas d'engagement en volume avant récolte mais permet au producteur d'être rémunéré via les mêmes modalités que le contrat-qualité (acompte *K* puis compléments de prix). Le contrat de stockage combiné à un contrat de commercialisation à prix spot *CStock* permet à l'agriculteur de vendre sa production après la récolte au prix du marché. Ce mode de commercialisation expose plus fortement l'agriculteur au risque de fluctuation du prix après la récolte et il doit supporter le coût du stockage qui est déduit du prix de vente. (tab. 2).

Tableau 2. Prix du blé dans les différents modes de commercialisation et par état de nature

(€ / tonne)	Etat de nature	Etat de	Etat de	Moyen	Ecart-type
	EN1	nature	nature		
		EN2	EN3		
<i>Probabilité états de nature</i>	0,31	0,38	0,31		
Contrats CQ et CPMC	172	259	345	259	68
(hors prime)					
Contrats CQ et CPMC	185	259	345	263	63
<i>avec acompte (185 €/t)</i>					
Contrats CStock	154	263	372	263	86

EN1 : état de nature « faible » ; EN2 : état de nature « moyen » ; EN3 : état de nature « fort »

Distributions établies à partir de l'indice de prix IPPAP (INSEE, 2017) et de l'acompte proposé par la coopérative partenaire en 2013

Le choix du mode de commercialisation est influencé par la distribution des prix de vente qui change entre la période 1 (avant récolte) et la période 2 (après récolte), c'est-à-dire avant et après paiement de l'acompte, pour les contrats rémunérés à prix moyen *CPMC* et *CQ*. L'acompte versé à la récolte modifie la distribution du prix de vente à prix moyen de campagne (PMC) au moment de la récolte (période 2). Plus cet acompte est élevé et plus la marge moyenne par hectare est élevée en période 2 et plus l'écart type du profit du contrat est faible. Par ailleurs, les transactions au prix spot (*CStock*), après prise en compte des coûts de stockage, se caractérisent par un profit moyen équivalent aux autres contrats mais un écart-type de ce profit beaucoup plus élevé (fig.4). Le profit moyen du contrat de production *CQ* est plus élevé que celui du contrat *CStock* et du contrat *CPMC* en première période car il tient compte de la prime de qualité. Dans la zone à haut potentiel le niveau de profit du contrat *CQ* est plus élevé (623€/ha) que dans la zone à faible potentiel (344€/ha), car les rendements et les niveaux de qualité moyens sont plus élevés.

Du point de vue de l'analyse de risque, le contrat *CQ* domine stochastiquement tous les autres contrats dans la zone à haut potentiel, quel que soit le niveau d'acompte, du fait d'une espérance de profit plus élevée (liée à la prime qualité), alors que, dans la zone à faible potentiel, le contrat *CQ* est dominé stochastiquement par les contrats *CPMC* quand l'acompte est supérieur ou égale à 195€/ ha (fig. 4).

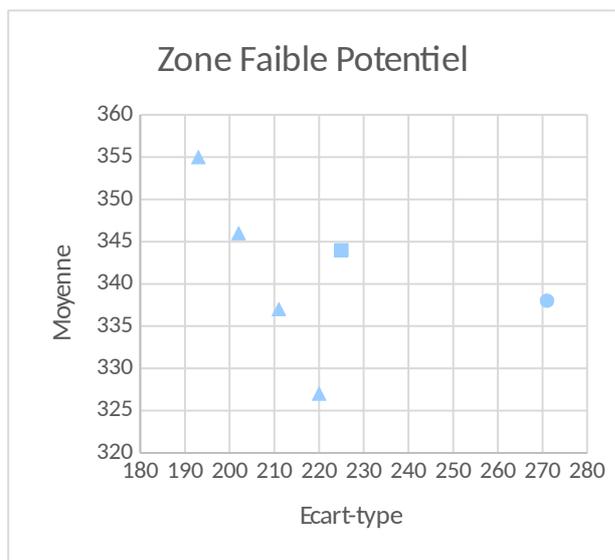
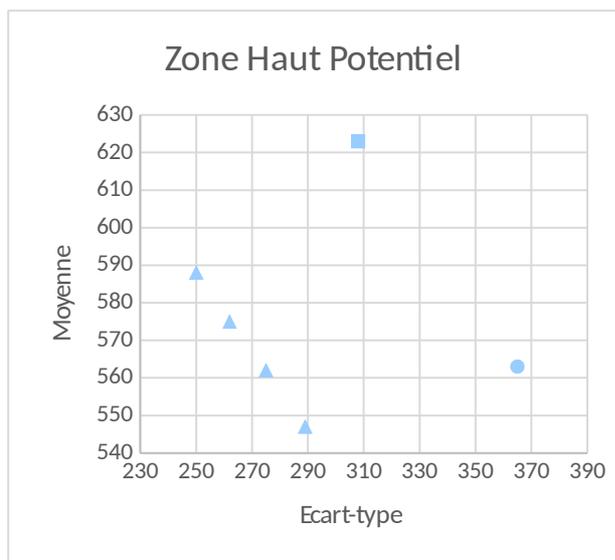


Figure 4. Profit moyen et écart-type de profit par contrat par hectare selon le niveau d'acompte, dans les zones à haut et à faible potentiel (légende : CPMC : contrat à prix moyen de campagne, CQ : contrat-qualité; Cstock : contrat de stockage et vente au marché spot ; P1 : période 1 ; P2 : période 2)

3 Simulations et résultats

3.1 Scénarii

Nous proposons de simuler avec le modèle dynamique le choix de production et de contrat sur la sole en blé dur, en mettant en concurrence plusieurs itinéraires techniques. Dans le premier scénario de référence noté SC0 ne sont introduits que les itinéraires techniques de référence, seul le choix du mode de commercialisation fait donc l'objet de l'optimisation. On fait varier, dans ce scénario, l'aversion absolue au risque ϕ ainsi que le montant de l'acompte K dans les contrats *CPMC* et *CQ*.

Pour les scénarios suivants, on fixe le niveau d'acompte à $K=185$ €/t, valeur d'acompte ayant été octroyé par la coopérative durant les années étudiées. Dans les scénarios SC1 et SC2, on met en concurrence l'ensemble des itinéraires techniques et on fait varier le niveau d'aversion au risque, ainsi que : i) le type d'engagement (surface ou volume) dans le scénario SC1 et ii) le niveau moyen de rendement à la récolte dans le scénario SC2 (tab.3).

Tableau 3. Récapitulatif des scénarii de simulation

Scénario	Intitulé	Itinéraire technique ITK	Objectif	Type d'engagement	Variation des paramètres stochastiques
SC0	Situation initiale	Itinéraire de référence (ref)	Sensibilité à l'aversion au risque ϕ	Surface	-
SC1	Sensibilité au type d'engagement	Tous	Influence du risque de contrepartie	Surface vs volume	-
SC2	Sensibilité au risque rendement	Tous	Influence du risque climatique	Volume	Rendement selon ITK

3.2 Résultats

Scénario de référence (scénario SC0)

On fait varier le coefficient d'aversion au risque qui pondère le critère [espérance-écart-type] de la fonction – objectif du modèle entre 0, qui correspond à une aversion absolue pour le risque nulle, et 0,1 qui correspond à une aversion très forte. Le niveau d'acompte est fixé à 185 €/tonne (tab. 4 et 5).

Tableau 4. Surfaces en blé dur par type de contrat, zone Haut Potentiel (HP) selon l'aversion au risque

Coefficients d'aversion au risque (ϕ)	[0-0,05]		0,1
	Surfaces Période 1 (ha)	CStock	31
CPMC		0	0
CStock		0	1,9
Surfaces	CQ	31	29,1

Période 2 (ha)	CPMC	0	0,6
	CStock	0	1,2
Marge totale (€)		19 347	19 224
Ecart-type de la marge (€)		28 431	27 443

CQ : contrat de production avant récolte, CPMC : contrat à prix moyen de campagne, CStock : contrat de stockage

Tableau 5 Surfaces en blé dur par type de contrat, zone Faible Potentiel (FP) selon l'aversion au risque

Coefficient d'aversion au risque (φ)		[0-0,005]	0,01	0,05	0,1
Surfaces Période 1 (ha)	CQ	20	18,8	12	9,6
	CPMC	0	0	0	3
	CStock	0	1,2	8	7,4
Surfaces Période 2 (ha)	CQ	20	18,8	12	9,6
	CPMC	0	0	3,9	5,4
	CStock	0	1,2	4,1	5
Marge totale (€)		6 893	6 885	6 797	6 765
Ecart-type de la marge (€)		10 614	10 253	8 686	8 404

Il apparaît sans surprise que le niveau d'aversion au risque influence le choix optimal de portefeuille de contrats. En effet, à niveau d'aversion au risque nul le choix se porte intégralement sur le contrat de production CQ ayant le profit moyen le plus élevée. A un niveau d'aversion au risque plus élevé (plus de 0,005 dans la zone à Faible Potentiel et plus de 0,05 dans la zone à haut potentiel), une partie de la surface en blé dur est vendue sous contrat CStock (vente à prix spot) en complément du contrat CQ. Au-delà d'une aversion au risque de 0,01 dans la zone à faible potentiel, on constate, entre la première et la seconde période une révision de la décision de commercialisation. La surface initialement prévue pour le contrat CStock (8 ha pour une aversion de 0,05) est diminuée (de 3,9 ha) en faveur du contrat CPMC qui est moins risqué en seconde période (tab. 5). En effet, l'information liée à l'acompte étant connue à la récolte, en seconde période, la distribution de profit du contrat CPMC devient moins dispersée et domine stochastiquement les distributions de profit des autres contrats. Pour ces niveaux d'aversion au risque, particulièrement dans la zone à faible potentiel, la diversification du portefeuille de contrats de commercialisation permet donc une meilleure couverture face au risque. La protection contre le risque passe par une diminution de la variabilité du profit mais s'accompagne également d'une diminution du profit moyen (on passe de 6 885€ pour une aversion au risque de 0,01 à 6 765€ pour une aversion de 0,1 dans la zone à Faible Potentiel).

Concernant la qualité, les itinéraires innovants de la zone à faible potentiel génèrent un niveau de qualité plus variable (fig. 3). Par conséquent, dans cette zone, les contrats CQ représentent une part moins importante de la production (9,6 ha sur 20 ha pour $\varphi=0,1$) que dans la zone à haut potentiel (29 ha sur 31 ha pour $\varphi=0,1$), ceci se vérifiant quel que soit le niveau d'aversion au risque (tab. 4 et 5).

Effet d'un engagement en volume par rapport à un engagement en surface (scénario SC1)

Le scénario SC1 permet de comparer deux types d'engagement, en surface et en volume, et de tester ainsi la sensibilité au risque de contrepartie. Dans ce scénario, tous les itinéraires techniques innovants et les trois types de contrats CQ, CPMC et CStock sont mis en concurrence. Par hypothèse du modèle, les choix de surface en contrat CQ en première période se fondent sur l'état de nature de rendement « faible », ceci pour palier le risque de contrepartie inhérent au fait que l'agriculteur ne pourrait pas honorer complètement son engagement. On suppose par ailleurs qu'entre la période 1 et la période 2, suite à la récolte, on a observé au final une réalisation de rendement égale à l'état de nature « moyen ». Nous testons la sensibilité à l'engagement uniquement dans la zone à Haut Potentiel.

Tableau 6. Surfaces en blé dur par type de contrat zone à haut potentiel (HP), comparaison engagement surface versus volume

$\phi=0,05$		Engagement Surface	Engagement Volume
Surfaces Période 1 (ha)	CQ	26,1	26,1
	CPMC	0	0
	CStock	4,9	4,9
Surfaces Période 2 (ha)	CQ	26,1	25
	CPMC	1,4	2
	CStock	3,5	4
Marge totale (€)		20 644	20 622
Ecart-type de la marge (€)		57 771	57 312

Lorsque l'engagement du contrat porte sur les volumes plutôt que sur les surfaces, les surfaces en contrat CQ en période 1 peuvent être en partie réallouées en période 2 selon les rendements atteints. Dans notre cas, l'engagement en volume correspondant à 26,1 ha en période 1 (tab. 6) correspond à une anticipation de rendement « faible ». Or, comme le rendement atteint en période 2 est plus élevé (état de nature de rendement « moyen »), les surfaces au final à consacrer à CQ peuvent être inférieures à 26,1 ha soit ici 25 ha. Par ailleurs, comme dans le scénario SC0, le choix d'allocation de la surface restante entre CPMC et CStock est révisé en deuxième période au détriment du CStock, aboutissant à un portefeuille de choix de contrats entre CQ, CPMC et CStock.

Effet du risque de rendement sur le choix de contrats et d'itinéraire technique (scénario SC2)

Effet sur le choix de contrats

Le scénario SC2 suppose un engagement en termes de volume, ce qui est le cas courant dans les contrats de la filière blé dur. Il met en concurrence les différents itinéraires techniques innovants.

L'objectif est de tester la sensibilité des résultats à trois réalisations possibles du rendement à la récolte (EN1 : faible, EN2 : moyen ou EN3 : élevé).

Nos résultats montrent que la réalisation de rendements plus élevés en deuxième période par rapport aux anticipations (EN2 ou EN3), conduit, logiquement, à la réallocation d'une surface plus importante (tab. 8 et 9). En l'absence d'aversion au risque, cette réallocation s'effectue au bénéfice du contrat *CStosk*, qui est le plus risqué en termes de risque prix, et au final le portefeuille de contrat est constitué de deux types de contrats *CQ* et *CStock*. Les écarts de rendements entre les trois états de nature étant plus importants en zone à Faible Potentiel (FP, tab. 9) qu'en zone à Haut Potentiel (HP, tab.8), les surfaces à réallouer vers le contrat *CStock* sont plus importantes en zone FP.

Lorsque l'aversion pour le risque augmente, la réallocation des surfaces s'équilibre entre le contrat *Cstock* et le contrat *CPMC* qui est moins risqué, formant un portefeuille plus diversifié, à trois contrats. La diversification du portefeuille a donc au final un effet plus sécurisant que le choix exclusif du contrat le moins risqué (*CQ*). Quelle que soit la réalisation de rendement en seconde période, plus l'aversion pour le risque est élevée, plus le portefeuille de contrats en seconde période est diversifié et plus la part de surfaces en contrat *CQ* diminue dans le portefeuille. Cette part chute à 60% (18 ha sur 31 ha) en zone HP (tab. 8) et à 40% (8 ha sur 20 ha) en zone FP (tab.9) dans le cas le plus défavorable, c'est-à-dire lorsque les réalisations de rendements sont élevées (autrement dit quand les anticipations de rendement sont très erronées) et que la sensibilité au risque est élevée aussi ($\varphi=0,1$).

Tableau 8. Surfaces en blé dur par type de contrat zone à haut potentiel (HP), selon l'état de nature de rendement atteint en période 2 (EN)

Coefficient d'aversion au risque (φ)	Période 1			Etats de nature (EN) réalisé	Période 2		
	CQ (ha)	CPMC (ha)	CStock (ha)		CQ (ha)	CPMC (ha)	CStock (ha)
0,01	31	0	0	EN1	31	0	0
				EN2	29,7	0	1,3
				EN3	28,6	0	2,4
0,05	26,1	0	4,9	EN1	26,1	1,5	3,4
				EN2	25,0	2,0	4,0
				EN3	24,1	2,5	4,4
0,1	20,1	0	10,9	EN1	20,1	5,2	5,7
				EN2	19,3	5,7	6,0
				EN3	18,6	6,0	6,4

EN1 : rendement faible, EN2 : rendement moyen, EN3 : rendement élevé

Tableau 9. Surfaces en blé dur par type de contrat zone à faible potentiel (FP), selon l'état de nature de rendement atteint en période 2 (EN)

Coefficient	Période 1	Etats de	Période 2
-------------	-----------	----------	-----------

d'aversion au risque (ϕ)	nature (EN) réalisé			CQ (ha)	CPMC (ha)	CStock (ha)
	EN1	EN2	EN3			
0,01	EN1	20	0	0		
	EN2	16,2	0	3,8		
	EN3	13,6	0	6,4		
0,05	EN1	13,3	2,8	3,9		
	EN2	10,7	4,2	5,1		
	EN3	9,0	5,1	5,9		
0,1	EN1	11,7	4,1	4,2		
	EN2	9,5	5,3	5,2		
	EN3	8,0	6,1	5,9		

EN1 : rendement faible, EN2 : rendement moyen, EN3 : rendement élevé

Effet du risque rendement sur le choix d'itinéraire technique

Dans la zone à haut potentiel (HP), l'itinéraire technique innovant choisi dans le scénario SC2 est celui optimisant l'utilisation d'intrants en sec, « Opti-S », quelles que soient les hypothèses d'aversion au risque et de réalisation du rendement. Cet itinéraire technique semble plus efficient, car il présente un rendement moyen acceptable du point de vue économique avec moins de charges que l'itinéraire technique de référence « HP-ref » (tab. A2, annexes). Cela se confirme en comparant le profit des différents itinéraires techniques de cette zone (fig. 5). Dans la zone à faible potentiel (FP), l'itinéraire technique de référence « FP-ref » est préféré systématiquement à tous les itinéraires techniques innovants, quel que soit le contrat et quel que soit le niveau d'aversion pour le risque. En effet, il présente un profit beaucoup plus élevé (même si très variable) que celui des itinéraires techniques innovants (fig. 5).

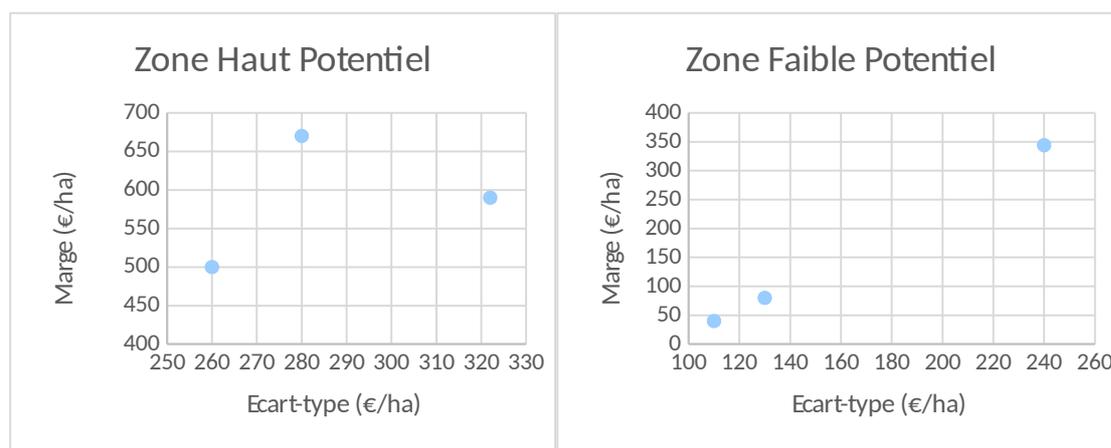


Figure 5. Marge moyenne espérée et écart-type des itinéraires techniques innovants étudiés

(légende ; HP-ref ; itinéraire de référence de la zone à haut potentiel ; EcEau : itinéraire économe en eau ; OptiS : itinéraire optimisé en sec ; FP-ref ; itinéraire de référence de la zone à faible potentiel ; AB : itinéraire en agriculture biologique ; StabKT : itinéraire de stabilité de la qualité)

Si l'on analyse les valeurs marginales, qui ont été obtenues sur la base du scénario SC2 (tab.10), il apparaît que, dans la zone HP, pour que l'itinéraire technique innovant économe en eau « Ec Eau » soit choisi dans le modèle, il serait nécessaire de fournir une incitation assez forte, entre 109 et 140 €/ha selon le type de contrat. Dans la zone à faible potentiel, il en est de même pour les itinéraires techniques stabilisation de la qualité, « StabKT » et « agriculture biologique », (AB) avec des valeurs marginales respectives de -271 € /ha et -216 € /ha en contrat CQ (tab.10). Ceci étant, dans les simulations, la valorisation de la production en agriculture biologique n'a pas pu être prise en compte à cause de l'absence de données de référence sur les prix du blé dur en AB.

Tableau 10. Valeurs marginales et surfaces pour les itinéraires techniques par mode de commercialisation

Contrats		Zone Haut Potentiel			Zone Faible Potentiel		
		HP-ref	Opti-S	EcEau	FP-ref	StabKt	AB
CQ	Valeur marginale	-35	0	-109	0	-271	-216
	Surface	0	26,1	0	11,7	0	0
CPMC	Valeur marginale	-93	-11	-140	-8	-274	-216
	Surface	0	0	0	0	0	0
CStock	Valeur marginale	-78	0	-128	0	-270	0
	Surface	0	4,9	0	5,4	0	2,9

4. Conclusion

L'adoption d'itinéraires techniques à bas intrants répondant en même temps aux enjeux de la filière blé dur en matière de qualité technologique constitue l'un des objectifs majeurs de la recherche sur les itinéraires techniques innovants. Pour les agriculteurs qui sont confrontés au choix de mettre en œuvre ces pratiques, l'exposition au risque de rendement peut se trouver accrue, et, en présence de risque de marché, le revenu est soumis à des fluctuations plus importantes. Les contrats de commercialisation que l'agriculteur signe avec son organisme de collecte peuvent permettre de diminuer le risque de marché et d'atténuer au final le risque de fluctuation du revenu, facilitant l'effet de l'adoption de pratiques à bas niveau d'intrants plus risquées du fait de l'aléa moral. La mise en œuvre d'un modèle dynamique en programmation stochastique discrète sur le cas d'une exploitation dont la part en céréales est uniquement consacrée la production de blé dur permet d'articuler le choix de changements de pratique et les choix séquentiels de contrats de commercialisation. Ce modèle est testé pour des données collectées à partir d'essais réalisés dans le Sud-Est de la France, dans deux zones, l'une à haut potentiel où la production de blé dur est la production principale et l'une à faible potentiel où des cultures à haute valeur ajoutée (maraîchage, arboriculture, viticulture) la concurrencent.

Nous montrons que la part de contrats signés avant récolte en contrat qualité domine dans tous les scénarios et dans les deux zones si l'aversion pour le risque est modérée. Ce résultat est dû d'une part à la prime qualité qui accroît l'espérance de profit, et par ailleurs au mode de rémunération du contrat

qui prévoit le versement d'un acompte à la récolte puis de compléments de prix par la coopérative. L'acompte joue le rôle d'un prix minimum qui diminue l'exposition au risque de marché. Lorsque l'aversion au risque augmente ou que les anticipations de rendement sont erronées, on constate que la part des contrats-qualité diminue et que les surfaces sont réallouées après récolte vers des contrats de stockage avec vente au prix spot et des contrats à prix moyen de campagne (sans contrat qualité). La diversification des choix contractuels permet alors de diminuer le risque de fluctuation du revenu, par une stratégie de portefeuille, en diminuant le profit moyen.

Concernant l'adoption d'itinéraires techniques innovants, on constate que seul l'itinéraire technique optimisant l'utilisation d'intrants en sec, dans la zone à haut potentiel est préféré à l'itinéraire technique de référence, quel que soit le choix de contrat. La prime incitative qui permettrait de compenser les pertes pour l'adoption d'itinéraires économes en eau dans cette zone s'échelonne de 109 à 128 € par hectare, mais elle serait minimisée par l'adoption d'un contrat qualité. En zone à faible potentiel, les itinéraires techniques innovants ne sont jamais préférés aux itinéraires techniques de référence, mais leur coût d'opportunité peut être augmenté en présence de contrats-qualité ou à prix moyen de campagne. Cependant, on doit nuancer ces résultats car nous n'avons pas pris en compte la prime à l'agriculture biologique qui est souvent versée même pour des niveaux de qualité faible et qui permettrait d'augmenter la rentabilité de la conduite AB.

Ce travail montre, à l'échelle de l'agriculteur l'intérêt de s'appuyer sur une approche de gestion des risques-revenu pour analyser les incitations aux changements de pratiques. Le contrat qualité a l'avantage de proposer une incitation à augmenter le niveau de qualité, il constitue un engagement avant récolte favorable à la négociation dans l'ensemble de la filière, et il semble également être un moyen intéressant de gérer le risque de marché.

Références

- Abécassis J., Triboulet P., Boy E. (2013). Eco-conception innovante pour une filière blé dur durable. *Les Rencontres de l'INRA au Salon de l'Agriculture*, February, Paris
- Apland J., Hauer G. (1993). Discrete stochastic programming: Concepts, examples and a review of empirical applications *Staff Paper Series*: Departement of agricultural and applied economics college of agriculture. University of Minnesota.
- Chambre d'agriculture de PACA. (2016). Productions végétales. [Consulté en 2017]. <http://www.paca.chambresagriculture.fr/notre-agriculture/productions-vegetales/>
- Danthine J.-P. (1978) Information, Futures Prices, and Stabilizing Speculation. *Journal of Economic Theory* 17:79–98. doi: 10.1016/0022-0531(78)90124-2.

- Daydé C., Roussy C., Ridier A., Chaib K., (2014), Risk, labour and climatic uncertainty in crop rotation optimization models, poster contribution, *EAAE XIVth Congress*, Ljubjana, 26th-29th August
- Fares M., Magrini M.B., Triboulet P. (2012). Transition agroécologique, innovation et effets de verrouillage : le rôle de la structure organisationnelle des filières. Le cas de la filière blé dur française. *Cahiers Agricultures*, janvier-février, (21) 1:34-45.
- Grant D. (1985). Theory of the Firm with Joint Price and Output Risk and a Forward Market.” *American Journal of Agricultural Economics* 67:630–635. doi: 10.2307/1241086.
- Hardaker J.B., Huirne R.B.M., Anderson J.R., Lien G. (2004). *Coping with risk in agriculture*. 2ème éd. Londres : CABI Head Office. 331 p.
- Holthausen D.M. (1979), Hedging and the Competitive Firm under Price Uncertainty. *American Economic Review* 69:989-995.
- INSEE (France). (2017). Indice mensuel des prix agricoles à la production (IPPAP) – Base 100 en 2010 – blé dur – Données brutes. Paris : INSEE. [Consulté en 2017]. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/serie/001663631>
- Lien G., Hardaker J.B. (2001). Whole-farm planning under uncertainty: impacts of subsidy scheme and utility function on portfolio choice in Norwegian agriculture. *European Review of Agricultural Economics* 28(1):17-36
- Lapan H., Moschini G. (1994), Futures Hedging under Price, Basis, and Production Risk. *American Journal of Agricultural Economics* 76:465–477. doi: 10.2307/1243658.
- Mishra A.K., Nimon R.W., El-Osta H.S. (2005). Is moral hazard good for the environment? Revenue insurance and chemical input use. *Journal of environmental management* 74(1):11-20.
- Mosnier C. (2015). Self-insurance and multi-peril grassland crop insurance: the case of French suckler cow farms. *Agricultural Finance Review* 75(4):533-551. doi: 10.1108/AFR-02-2015-0006.
- Quiggin J. (1992). Some observations on insurance. Bankruptcy and input demand. *Journal of Economic Behaviour and Organization* 18:101-110.
- Rae A. (1971). Stochastic programming, utility, and sequential decision problems in farm management. *American journal of agricultural economics* 53:448-460.
- Ricome A., Chaib K., Ridier A., Képhaliacos C., Carpy-Goulard F. (2016), The role of marketing contracts in the adoption of low input practices in the presence of income supports: an application to the Southwestern France, *Journal of Agricultural and Resource Economics* 41(3):347-371
- Ridier A., Chaib K., Roussy C. (2015). A dynamic stochastic programming model of crop rotation choice to test the adoption of long rotation under price and production risks. *European journal of operational research* 252:270-279.

- Roussy C., Ridier A., Chaib K., Boyet M. (2018). Marketing contracts and risk management for cereal producers. *Agribusiness* 34(3):616-630.
- Smith V., Goodwin W. (1996). Crop insurance, moral hazard, and agricultural chemical use. *American Journal of Agricultural Economics* 78:28-438.
- Trebeck D., Hardaker J.B. (1972). The integrated use of simulation and stochastic programming for whole farm planning under risk. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics* 16(2):115-126.

Annexes

Tableau A1. Caractéristiques des itinéraires techniques innovants conduits par l'INRA

Zone d'étude	Itinéraire technique	Caractéristiques	
Sud-Est (Aix en Provence)	Haut potentiel	Référence haut potentiel	Représente les pratiques culturales de la région spécifiques au type des sols à haut potentiel, sécurisé selon les conditions pédoclimatiques
		Optimisé en sec	Réduction de l'utilisation des pesticides et emploi du désherbage mécanique
		Optimisé en irrigué	Utilisation de l'irrigation pour sécuriser le rendement et le désherbage mécanique
		Econome en eau	Mélange du blé avec la gesce au semis. Destruction de la gesce par le gel constituant le mulch qui conserve l'humidité du sol
		Association avec une plante de service	Utilisation d'une plante de service
	Faible potentiel	Référence faible potentiel	Représente les pratiques culturales de la région spécifiques au type des sols à faible potentiel, sécurisé grâce à l'emploi du désherbage chimique
		Simple et robuste	Semis d'un mélange variétal afin d'améliorer la résistance aux maladies et emploi du désherbage mécanique
		Stabilité de la qualité	Semis d'une variété connue pour ses caractéristiques technologiques avec réduction de l'utilisation des pesticides et l'emploi du désherbage mécanique
		Agriculture biologique	Absence d'utilisation d'intrants de synthèse avec l'utilisation de plantes de service : mélange avec la gesce qui devrait être détruite par le gel et la féverole binée au printemps.
			Source : construit à partir de (Justes, Hily, communication personnelle, 2017).

Tableau A2. Itinéraires techniques choisis sur la base du calcul d'indicateurs d'ordre économique, technologique et agronomique dans le site d'Aix en Provence

Type des sols	Itinéraire technique sélectionné	Intitulé	Performance économique		Valorisation technologique		Performance agronomique						
			Efficiences économique (%)	2014-2015	2015-2016	Taux de protéines (%)	2014-2015	2015-2016	Efficiences d'utilisation de l'azote (q/kgN)	2014-2015	2015-2016	Valorisation de l'IFT (€/unité IFT)	2014-2015
Haut potentiel	« Opti-S »	Optimisation de l'utilisation des intrants en sec	177,10	136,84	12,59	13,38	0,35	0,26	-	-			
	« EcEau »	Economie en eau	173,08	114,23	12,37	13,68	0,40	0,24	853,09	324,31			
	« HP-ref »	Référence régionale en haut potentiel	202,62	120,82	12,94	14,33	0,32	0,21	790,16	95,29			
Faible potentiel	« StabKt »	Réduction azote à 100 u et IFT à 0,5	134,93	39,20	11,27	12,93	0,33	0,28	-	-			
	« AB »	Agriculture biologique	93,14	130,05	11,80	11,62	0,28	-	-	-			
	« FP-ref »	Référence régionale en faible potentiel	126,79	97,76	12,43	13,29	0,23	0,35	361,83	64,41			

Source : construit à partir de (Justes, Hily, communication personnelle, 2017).